

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЛЕЙ КЛАССА «СУПЕР-ХРОМ», ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТРУБ НЕФТЯНОГО СОРТАМЕНТА

И.Ю. Пышминцев^{*}, С.М. Битюков^{}, К.А. Лаев^{**}, А.Н. Борякова^{*},
Д.А. Мананников^{*}**

*Руководитель - С.М. Битюков, ЕФ ОАО «РосНИТИ», начальник лаборатории
металлургических процессов*

^{*} ОАО «РосНИТИ», г. Челябинск; ^{**} ЕФ ОАО «РосНИТИ», г. Екатеринбург
lakmuskosh@rambler.ru

Для эксплуатации на газовых, газоконденсатных и нефтяных месторождениях, содержащих в добываемой продукции диоксид углерода (CO₂), успешно используют обсадные и насосно-компрессорные трубы из стали группы прочности L80 13Cr с техническими требованиями по стандарту API 5CT.

Однако для более тяжелых условий эксплуатации трубы из стали L80 13Cr становятся непригодными, поэтому необходимы разработка оптимальных составов и технологии производства труб из сталей «супер-хром» класса. К таким условиям относятся:

- одновременное присутствие в рабочей среде диоксида углерода и сероводорода;
- необходимость эксплуатации на месторождениях, находящихся в холодных климатических районах;
- необходимость использования труб с более высокой группой прочности, чем L80 (в частности, группы C95 и P110 по стандарту API 5CT);
- высокая температура в глубоких скважинах (до 150 °C и выше).

Для проведения исследований были выбраны 4 состава опытных сталей, химический состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав и критические точки сталей класса
«супер-хром»

Обозначение	Химический состав, % масс								Критические точки, °C			
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Ac1	Ac3	M _n	M _k
04X13N4M	0,011	0,24	0,55	4,3	12,45	1,46		-	700	760	320	140
03X13N5M2	0,017	0,25	0,55	4,8	13,18	2,15		0,09	670	770	250	110
03X13N5M2T	0,015	0,23	0,52	5,5	13,22	2,41		0,23	660	740	230	110
05X13N3MФ	0,054	0,20	0,55	2,7	13,17	0,6	0,12	0,24	690	810	320	130

Исследование влияние режимов термической обработки

Влияние температуры отпуска на предел текучести на примере стали марки 03X13N5M2 приведено на рисунке 1 (исходное состояние – закалка от температуры 1000 °C). Предел текучести, соответствующий группе прочности P110, обеспечивается после отпуска при температурах 550...625 °C. После

отпуска при температуре 650 °С предел текучести резко снижается и становится ниже требований, установленных для группы прочности C95. После отпуска при температурах выше 650 °С прочностные свойства начинают повышаться, что связано с началом $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения и образованием при последующем охлаждении мартенситной структуры.

Испытания на ударный изгиб при температуре -60 °С показали, что исследуемые стали заметно превосходят по сопротивлению хрупкому разрушению сталь марки L80 13Cr по стандарту API 5CT.

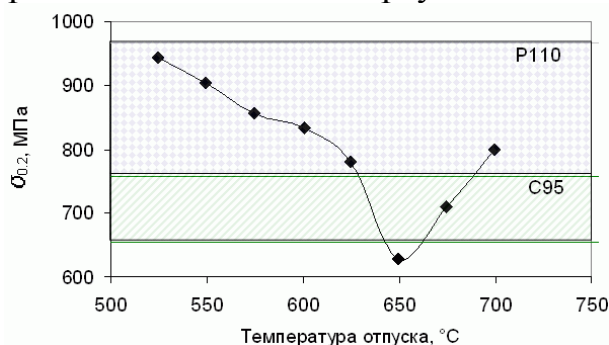


Рисунок 1 Влияние температуры отпуска продолжительностью 1 час на предел текучести стали марки 03X13H5M2. Исходное состояние – закалка от 1000 °С

Микроструктуру, формирующуюся в сталях класса «супер-хром» при термической обработке, изучали при помощи оптической и просвечивающей электронной микроскопии в закаленном состоянии и после закалки и отпуска.

После закалки от температур 960...1000 °С микроструктура исследуемых сталей представляет собой «массивный» мартенсит, характерный для низкоуглеродистых мартенситностареющих сталей.

Структура стали 03X13H5M2 после закалки и отпуска при температуре 620 °С, 1 час, представляет собой отпущенный мартенсит, между рейками которого наблюдается незначительное количество стабилизированного аустенита, образовавшегося в результате обратного $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения при отпуске. Присутствующие в закаленном состоянии участки δ -феррита после отпуска при температуре 620 °С сохранились в неизменном виде.

Испытания на коррозионная стойкость

Для коррозионных исследований опытные стали «супер-хром» обрабатывали на группы прочности 95 kpsi ($\sigma_T = 655-758$ МПа) и 110 kpsi ($\sigma_T = 758-965$ МПа). Для сравнения испытывали также сталь марки L80 13Cr, обработанную на группу прочности 80 kpsi ($\sigma_T = 555-655$ МПа).

Коррозионная стойкость сталей исследовали двумя методами: испытание на общую коррозию и испытание на питтинговую коррозию.

Полученные результаты показали, что наиболее высокой стойкостью к общей коррозии в присутствии в испытательной среде сероводорода обладает сталь 03X13H5M2. Стали класса «супер-хром» в 3-4 раза превышают по коррозионной стойкости «классическую» сталь с 13 % Cr.

Закключение

1. Обобщенные данные достигнутых уровней прочностных свойств и коррозионной стойкости позволяют сделать выбор марок сталей в зависимости от заданной группы прочности и климатического исполнения (таблица 2).

Таблица 2 – Свойства, достигнутые на сталях класса «супер-хром»

Состав стали	группы прочности по API 5CT, σ_T^{\min} , kpsi		Хладостойкость, (KCV _{-60°C} не менее 98 Дж/см ²)	коррозионная стойкость*
04X13H4M	80	+	+	+
	95	+	+	+
	110	-	-	-
03X13H5M2	80	-	-	-
	95	+	+	+
	110	+	+	+
03X13H5M2T	80	-	-	-
	95	+	+	+
	110	+	+	+
05X13H3MФ	80	+	+	+
	95	+	+	+
	110	+	-	-

*Примечание: 1. знаки + и - означают, соответственно, что заданные требования достигнуты или не достигнуты; 2. коррозионная стойкость – это суммарный результат по итогам двух испытаний: испытание в автоклаве на общую коррозию и испытания на стойкость к питтинговой коррозии по ГОСТ 9.912-89

3. Наиболее высокий комплекс механических свойств показали стали 04X13H4M и 03X13H5M2. Сталь 05X13H3MФ обладает хладостойкостью при прочностных свойствах, соответствующих группе 95 kpsi и может служить заменой стали марки L80 13Cr, не обладающей необходимым уровнем хладостойкости.

4. По скорости и механизму коррозии стали составов 04X13H4M, 03X13H5M2 и 03X13H5M2T отличаются незначительно. Сталь состава 05X13H3MФ, вероятно за счет большего содержания углерода и более экономного легирования, проявляет меньшую коррозионную стойкость, чем стали, приведенные выше. Однако все изученные стали класса «супер-хром» проявляют большую сопротивляемость коррозии в углекислой среде с добавкой сероводорода, чем сталь марки L80 13Cr по стандарту API 5CT.